



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

소비자 선호도를 이용한 전기자동차 확산 예측

Electric Vehicles Diffusion Forecasting
Based on Consumer Preference

2018 년 8 월

서울대학교 대학원

산업공학과

신 진 수

소비자 선호도를 이용한 전기자동차 확산 예측

Electric Vehicles Diffusion Forecasting
Based on Consumer Preference

지도교수 이 덕 주

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2018 년 6 월

서울대학교 대학원

산업공학과

신 진 수

신진수의 공학석사 학위논문으로 인정함

2018 년 6 월

위원장 박 용 태 (인)

부위원장 이 덕 주 (인)

위원 홍 유 석 (인)

초록

최근 몇 년 동안 석유가격의 변동과 탄소배출 등 환경 문제가 이슈화되면서 친환경 자동차에 대한 수요가 증가하고 있는 추세이다. 하지만 내연기관자동차에 대한 익숙함과 친환경자동차에 대한 사람들의 인식 부족으로 인해 친환경자동차에 대한 수요가 불명확한 상태이다. 따라서 소비자들의 친환경자동차에 대한 인식을 파악하기 위해 소비자들의 선호도를 측정하여 예측하는 방법이 거시적인 판매량 추이만을 통해 예측하는 방법보다 시장상황과 정책을 고려할 수 있어 보다 현실적인 결과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 자동차 선택 게임을 통해 각 요인이 소비자 선호도에 대한 기여도를 확인하고자 한다. 그리고 MNL(MultiNomial Logit) 모형을 이용하여 소비자 선호도를 정량적으로 측정하고, 각종 예상 시나리오 하에서 친환경자동차의 확산 추이를 알아보려 한다.

주요어: 전기자동차, 확산예측, 소비자 선호도

학번: 2016-29908

목차

| | |
|---------------------------|----|
| 초록 | i |
| 목차 | ii |
| 표 목차 | iv |
| 그림 목차 | v |
| 제 1 장 서론 | 1 |
| 1.1 연구 배경 및 목적 | 1 |
| 1.2 논문 구성 | 5 |
| 제 2 장 선행연구 | 6 |
| 2.1 친환경자동차 선택에 영향을 미치는 요인 | 6 |
| 2.2 친환경자동차 확산 예측 모형 | 8 |
| 제 3 장 전기자동차 확산 예측 절차 | 9 |
| 3.1 설문조사 | 9 |
| 3.2 다항로지모형을 이용한 효용함수 추정 | 13 |
| 3.3 전기자동차 확산 예측 | 15 |
| 제 4 장 분석 결과 | 19 |
| 4.1 효용함수 추정 결과 | 19 |
| 4.2 전기자동차 확산 예측 결과 | 23 |
| 4.2.1 시나리오 1 | 23 |
| 4.2.2 시나리오 2 | 24 |

| | | |
|-----------------|-----------------|-----------|
| 4.2.3 | 시나리오 3 | 25 |
| 4.2.4 | 시나리오 4 | 27 |
| 4.2.5 | 시나리오 5 | 29 |
| 4.2.6 | 시나리오 6 | 31 |
| 4.2.7 | 시나리오 7 | 33 |
| 제 5 장 | 결론 | 36 |
| 5.1 | 결론 | 36 |
| 5.2 | 향후 연구 계획 | 38 |
| 참고 문헌 | | 38 |
| Abstract | | 43 |

표 목차

| | |
|--|----|
| Table 1.1: 감축목표 유형..... | 2 |
| Table 3.1: 전기자동차 선택도 조사 개요 | 9 |
| Table 3.2: 전기자동차 선택도 조사 할당표 | 9 |
| Table 3.3: 기존대안 자동차 속성 | 10 |
| Table 3.4: 비교대안 자동차 속성 및 변화 방식 | 12 |
| Table 3.5: 자동차 선택 게임 예시..... | 13 |
| Table 4.1: 최대우도추정분석 (하이브리드 자동차 vs 전기자동차) | 19 |
| Table 4.2: 최대우도추정분석 (내연기관 자동차 vs 전기자동차) | 21 |
| Table 4.3: 시나리오 1 속성 값 | 23 |
| Table 4.4: 시나리오 2 속성 값 | 24 |
| Table 4.5: 시나리오 3 속성 값 | 33 |
| Table 4.6: 시나리오 4 속성 값 | 35 |
| Table 4.7: 시나리오 5 속성 값 | 37 |
| Table 4.8: 시나리오 6 속성 값 | 39 |
| Table 4.9: 시나리오 7 속성 값 | 41 |

그림 목차

| | |
|---|----|
| Figure 1.1: 연구 흐름도..... | 6 |
| Figure 3.1: 화산예측 분석 절차 | 16 |
| Figure 3.2: 시장점유율 예측 절차..... | 17 |
| Figure 4.1: 시나리오 1에 따른 전기자동차 화산 예측..... | 24 |
| Figure 4.2: 시나리오 2에 따른 전기자동차 화산 예측..... | 25 |
| Figure 4.3: 시나리오 3에 따른 전기자동차 화산 예측..... | 27 |
| Figure 4.4: 시나리오 4에 따른 전기자동차 화산 예측..... | 36 |
| Figure 4.5: 시나리오 5에 따른 전기자동차 화산 예측..... | 38 |
| Figure 4.6: 시나리오 6에 따른 전기자동차 화산 예측..... | 40 |
| Figure 4.7: 시나리오 7에 따른 전기자동차 화산 예측..... | 42 |

제 1 장 서론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 전통 화석연료의 고갈과 지구온난화문제의 심각성이 대두되면서, 각국의 정부들은 이러한 문제를 해결할 대응 방안을 찾고 있다. 영국의 석유회사인 B.P(British Petroleum)[7]에 따르면 주요 화석연료의 고갈 시기는 석유는 51년, 석탄 114년, 천연가스는 53년 이후에 고갈이 될 것으로 전망하고 있다. 화석연료의 고갈은 유가의 변동성에 큰 영향을 미치게 되며, 미국 I.E.A.(International Energy Agency)[24]에 따르면 2015년 배럴당 기준유가 56달러에서 2040년 141달러 수준으로 전망하고 있다. 대한민국의 에너지소비량은 268만 toe로 세계 9위를 기록하고 있으며, 에너지소비량 중 석유부분의 소비는 108 toe로 세계 8위의 규모이다. 이러한 에너지소비량은 세계 13위의 경제규모에 비해 높은 수준이며, 특히 석유 소비량은 여타 에너지 종류에 비해 높은 수준이다. 이와 더불어 전체 에너지소비의 94.1%를 해외에서 수입하고 있는 상황이기 때문에 원활한 에너지수급을 위한 대응책이 절실한 상황이다.

화석연료의 사용은 환경오염과도 직접적인 연관이 있다. 석유의 채굴부터 소비자가 소비하는 모든 과정은 대기오염뿐만 아니라, 수질 및 토양 오염을 유발한다. 화석 연료 사용은 방대한 양의 이산화탄소를 배출하게 되며, 환경부[56]에 따르면 수도권에서 발생하는 미세먼지의 30% 이상이 경유차 등 내연기관 자동차에서 배출되는 오염물질에 의해 대기오염이 심각해지고 있다고 발표했다. 또한 미국의 경우에도 이산화탄소 배출량 중 33%는 가솔린을 사용하는 내연기관 자동차로 인해 발생하고 있는 것으로 나타났다. 이산화탄소를 비롯한 여러 배기가스는 지구 온난화를 가속화시키며, 이러한 기후변화 억제에 위한 정책을 마련해야 한다는 트렌드가 전 세계적으로 형성되고 있다. 각국의 정부들은 기후변화체제를 대응하기 위해 다양한 협약을 이행하고 있다.

1992년 브라질에서 개최된 유엔환경개발회의(UNCED: United Nations Conference on Environment & Development)에서 채택된 유엔기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)[42]은 선진국과 개도국이 온실가스로 인한 지구온난화 문제를 해결하고자 범세계적으로 대응체제를 구축하였으며, 환경관리에 대한 체계적인 토대를 마련하는 계기가 되었다.

교토의정서는 선진국들의 수량적 온실가스 감축의무를 규정하였으며, 1997년 일본 교토에서 개최되었다. 교토의정서는 지구온난화를 가속화시키는 가스들로 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 이산화질소(N_2O), 불화탄소(PFC), 수소불화탄소(HFC), 불화유황

(SF_6) 등 6개의 감축 대상가스를 정의하였으며, 의무이행 대상국들이 일본, 미국, 캐나다, 오스트레일리아, 유럽연합 등 총 37개국에서 제1차 감축공약기간인 2008년부터 2012년까지 온실가스 배출량을 1990년 수준 대비 평균 5.2%를 감축하기로 합의하였다. 온실가스 감축 이행 당사국들은 기후변화 보고, 감축계획 수립 및 이행 등 일반적인 행정 이외에도 청정개발체제(CDM, Clean Development Mechanism), 배출권거래제(ETS, Emission Trading Scheme) 및 공동이행제도(JI, Joint Implementation)를 도입하였다[43]. 이러한 신축성 메커니즘(Flexibility Mechanism)을 통해 효율적으로 환경관리를 이행하려 시도하였다. 제1차 감축공약기간이 끝난 2012년에 교토의정서의 연장에 합의하였지만, 온실가스 주 배출국인 중국, 미국, 일본, 러시아 등이 참여하지 않으면서 법제적인 온실가스 감축이행이라는 목적과 실효성에 의문이 제기되었다.

이후 2015년 파리에서 개최된 제21차 당사국총회(UNFCCC COP21)에서는 2020년부터 선진국 위주의 기후 변화 대응에서 개발도상국 등 모든 국가가 참여하는 신 기후체제의 서막을 알리는 파리 협정(Paris Agreement)이 채택되었다. 이전 선진국들에게만 온실가스 감축 의무를 부과하던 기존의 교토의정서 체제의 한계를 극복하고 개도국을 포함한 195의 당사국들이 자국의 상황을 반영하여 참여하는 계기가 되었다. 파리 협정은 지구 평균기온 상승을 산업화 이전 대비 2°C 보다 상당히 낮은 수준으로 유지하고, 1.5°C 로 제한하기 위해 노력한다는 전 지구적 장기목표 하에 모든 국가가 2020년부터 기후행동에 참여하며, 5년을 주기로 이행점검을 통해 점차 노력을 강화하도록 규정하고 있다[44]. 이번 파리 협정에서는 모든 국가가 감축목표를 자발적으로 설정하도록 장려하였으며, 설정한 온실가스 감축목표를 5년 단위로 제출하고 국내적으로 이행하도록 하였다. 더 나아가 차별적 책임 원칙에 따라 감축 목표 설정은 선진국의 경우 절대량 방식을 유지하도록 하였으며, 개도국의 경우 자국 상황을 고려하여 절대량 방식과 배출 전망치 대비 방식 중에서 선택하도록 하였다.

Table 1. 1 감축목표 유형

| 절대량 방식 | 배출 전망치(BAU) |
|--------------------------------------|---|
| 특정 기준 연도 대비 감축량 제시 | 특정 연도 기준, 예상되는 미래의 배출량 대비 감축목표 제시 |
| Ex.) 미국의 경우 2005년 온실가스 배출량 대비 20% 감축 | Ex.) 한국의 경우 온실가스 배출 전망치 (Business As Usual) 대비 37% 감축 |

석유에너지를 주 에너지원으로 사용하는 내연기관 자동차의 여러 문제점들을 해결하기 위해서는 친환경 자동차의 도입이 필수적이라 할 수 있다. 특히 전기 공급원으로부터 충전 받은 전기에너지를 동력원으로 사용하는 전기자동차는 기존의 내연기관 자동차와 달리 이산화탄소를 비롯한 유해물질인 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물, 미세먼지 등을 배출하지 않아 친환경적이다. 환경부에 따르면 이를 정량적인 수치로 나타내면, 전기자동차 한대 보급으로 인해 연간 이산화탄소 2톤을 감축하는 효과를 기대할 수 있다.

전기자동차는 내연기관 자동차가 발명된 1885년 보다 12년 앞선 1873년 영국에서 발명되었지만 기술적인 한계와 비싼 가격으로 인해 상용화에는 실패하였다. 하지만 2005년 이후 엄격해진 배기가스 규제, 유가 급등, 기술발전 등으로 인해 전기자동차는 재조명 받게 되었다. 전기자동차는 미래의 환경문제 및 에너지 문제를 해결해 줄 수 있는 가장 가능성 높은 대안 중의 하나이다 [56]. 따라서 대한민국을 비롯한 미국, 일본, 중국, 유럽 등에서 전기자동차에 대한 연구를 진행 중에 있으며, 각국의 정부들은 친환경차 보급 활성화를 위해 다양한 정책을 지원하고 있다.

국가별 전기자동차 정책 현황을 살펴보면, 세계 각국 정부는 2025년 ~ 40년에는 내연기관 차량을 판매할 수 없도록 하는 ‘퇴출시간표’를 공식화하고, 전기자동차 보급 및 인프라 구축을 위해 다각도에서 노력을 진행하고 있다. 특히 전기자동차시장을 견인하고 있는 중국이 2019년부터 플러그인 자동차와 순수전기자동차의 생산량이 10% 미달할 경우 벌금 등을 부과하는 ‘전기자동차 의무판매제’ 시행을 예고함에 따라, 국제적으로 신에너지 자동차의 확산이 이뤄질 것이라고 예상하고 있다[50].

해외 전기자동차 보급 지원 정책의 동향을 살펴보면 다음과 같다. 미국의 경우 플러그인 하이브리드 구매 시 최대 7,500달러의 세액공제 및 전기자동차 구매 시 전액 세금공제와 보험료 10%를 감면해 준다. 일본의 경우 플러그인 하이브리드 구매 시 최대 850,000엔 보조금 지원 및 세액 공제 250,000엔을 지원한다. 전기자동차 구매 시 최대 100만 엔 보조금 지원 및 취득세와 등록세를 면제해준다. 중국의 경우 플러그인 하이브리드 구매 시 최대 31,500위안의 보조금을 지원해주며 구매세금을 전액 면제해준다. 전기자동차 구매 시 중앙정부와 지방정부 각 60,000위안 보조금을 지원해주며, 취득세를 2020년까지 면제해준다[48]. 국내의 경우 전기자동차 구입 시 국비 1,400만 원 지방비 300 ~ 900만 원으로 지자체별로 총 1,700 ~ 2,400만 원을 지원하고 있다. 이와 함께, 다른 나라에서 지원하지 않는 완속충전기 보조금을 지원하는데 한 기당 최대 500만 원을 보조해준다.

범 국가적으로 친환경자동차 보급확산을 위해 다양한 지원정책을 이행하고 있지만, 국내의 친환경 자동차 중에서도 전기자동차 시장점유율은 매우 미미한 상태이다. 본 연구는 소비자들의 전기자동차 선호도를 측정하고, 그를 통해 시장 확산을 예측하는 것을 목적으로 하고 있다. 구체적인 분석절차로는 먼저 자동차선택게임을 기반으로 한 설문이 이뤄지며, 이를 바탕으로 전기자동차 구매에 영향을 미치는 각 속성에 대한 선호도를 측정한다. 마지막으로 다양한 시나리오를 작성하고 각 시나리오 하에서의 전기자동차 시장점유율을 예측한다.

1.2 논문 구성

본 연구는 5개의 장으로 구성되어 있으며, 본 연구의 내용 및 방법론을 각 장 별로 살펴보면 다음과 같다. 제1장에서는 연구의 배경과 목적을 제시한다. 제2장에서는 전기자동차와 관련된 선행연구를 살펴본다. 제3장에서는 전기자동차 확산을 예측하는 방법의 절차를 알아본다. 먼저 확산 예측을 위해 수집한 설문조사의 개요, 설계 및 결과를 알아본 후, 분석에 사용한 다항로지 모형을 살펴본다. 다음으로 본 연구에서 제안한 분석예측방법론을 제안한다. 제4장에서는 다양한 시나리오를 통해 결과를 분석한다. 제5장에서는 결론 및 추후연구과제에 대해 논의한다.

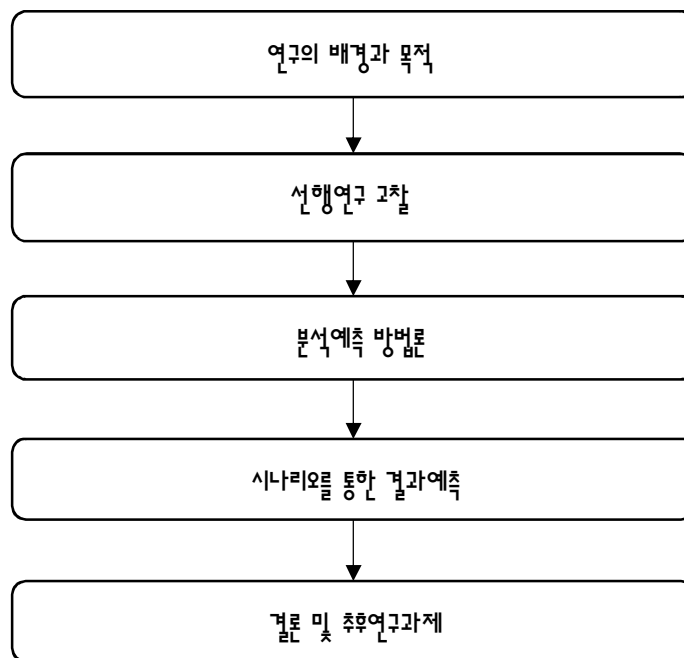


Figure 1. 1 연구 흐름도

제 2 장 선행연구

2.1 친환경자동차 선택에 영향을 미치는 요인

친환경자동차의 시장확산을 예측하는 선행연구들을 살펴보면 크게 두 가지의 영역으로 나뉠 수 있다. 첫 번째는 소비자들의 전기자동차 구매에 영향을 미치는 요인을 연구한 것이며, 두 번째로는 친환경자동차의 확산을 예측하는 다양한 모형들을 연구한 것이다.

본 연구에서 진행된 자동차 선택게임의 경우, 두 개의 대안 중 한 대안의 속성을 무작위하게 변화시킨다. 여기서 대안의 속성은 자동차를 구매하는 데 고려되는 요인인데, 기존의 연구에서는 자동차 구매에 영향을 미치는 요소로서 기술, 정책, 경제, 사회 등 크게 4가지의 분야로 분류하였다. 이산선택모형을 이용하여 전기차 확산을 추정한 모든 연구에서는 가격과 유지보수비용 등 경제적인 측면에서의 자동차 속성을 고려하였다(Yamaguchi [46]). Train [41]은 할인률을 고려하여 에너지 관련 의사결정 연구를 진행하였다.

기술적인 측면의 속성으로는 1회 완충 시 주행가능거리, 충전소요시간, 제로백 등의 요소들이 있으며, Chorus et al. [9], Hackbarth and Madlener [17], Helveston et al. [19], Hoen and Koetse [22], Franke and Krems [13], Mau et al. [28], Molin et al. [27], Rasouli and Timmermans [34]의 연구에서는 완충 시 주행거리를 고려하였다. 특히, Bockarjova et al. [6]의 연구에서는 최대 및 최소 주행거리를 고려하였고, Helveston et al. [19]은 플러그인 자동차의 경우에서 모두 전기로 주행하는 거리를 반영하였다. Bockarjova et al. [6], Chorus et al. [9], Hackbarth and Madlener [17], Hoen and Koetse [22], Rasouli and Timmermans [34], Axsen et al. [3]의 연구에서는 자동차를 완충하는 데 걸리는 시간을 구매 요인에 반영하였으며, Achtnicht et al. [2], Horne et al. [23]의 연구에서는 엔진의 마력을 반영하였다. Helveston et al. [19], Hess et al. [20], Potoglou and Kanaroglou [32]은 제로백, 즉 자동차가 출발하고 시속 100km까지 올리는 데 걸리는 시간을 고려하였다.

또한, 친환경자동차 확산을 위해 정부에서는 다양한 정책들을 추진하고 있다. 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 먼저 충전시설과 같은 인프라 구축 정책과 세금감면 혜택, 세금 외 부가혜택 등 금용지원 정책이 있다. 특히 충전시설과 관련한 많은 선행연구들을 찾을 수 있었는데, Rasouli and Timmermans [34]은 집과 충전소 및 주요소의 거리를 구매요인으로 고려하여 연구를 진행하였으며, Bockarjova et al. [6], Chorus et al. [9], Hoen and Koetse [22]은 집에서 충전소나 주요소까지 가는 데 걸리는 시간을 고려하여 자동차 구매 확산을 연구하였다. Achtnicht et al. [2], Hackbarth and Madlener [17], Horne et al. [23], Mau et al. [28], Potoglou and Kanaroglou [32], Shin et al. [37]의 연구에서는 전체 주요소 및 충전소에서

주요소나 충전소가 차지하는 비율을 충전시설의 접근성을 연구에 반영하였다. 금융지원 정책과 관련하여, 일회성 혜택인 세금 감면혜택(Hess et al. [20], Potoglou and Kanaroglou [32])과 구매 가격 절감 정책(Glerum et al. [16], Mau et al. [28]), 친환경차 사용 비용 절감 정책인 통행료 감면(Chorus et al. [9], Hackbarth and Madlener [17], Hoen and Koetse [22])의 선행연구들이 진행되었다.

이와 더불어 He et al. [18], Kim et al. [25]의 연구에서는 사회적인 측면에 친환경 자동차의 시장확산에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구를 진행하였다. Axsen et al. [4]은 소셜미디어 또는 Word Of Mouth등이 하이브리드 자동차의 시장확산에 어떠한 영향을 미치는지 연구하였으며, 이후 Axsen [5]의 연구에서는 기술발전이 이뤄진 상황에서 사회적 영향이 전기 자동차에 어떠한 영향을 미치는지 연구하였다.

이 외에도 자동차 구매에 영향을 주는 요인으로 안정성을 요인으로 연구한 Daziano [11] 와 환경성을 연구한 Gallagher and Muehlegger [14] 의 연구가 있다.

2.2 친환경자동차 확산 예측 모형

선행연구에서는 다양한 모형을 통해 소비자의 효용을 추정하고 신제품의 확산을 추정하고 있다. Brown [8], Garcia et al. [15], Shafiei et al. [39], Zhang et al. [47]의 연구에서는 행위자 기반 모델인 Agent-Based Model을 사용하여 전기자동차의 시장확산을 예측하였으며, Daziano and Achtnicht [12]는 다항프로비트모형 (Multinomial Probit Model)을 사용하여 예측하였다. 이산선택모형을 이용하여 전기자동차의 확산을 추정한 연구는 전 세계적으로 많이 진행되고 있다 (Rivers and Jaccard[35]). Train [40]의 연구에서는 다양한 이산선택모형을 소개하고 있다. 그 중 신제품 확산에 많이 사용되는 모형으로 다항로지모델 (MultiNomial Logit Model, MNL), 혼합로지모델 (Mixed Logit Model, MXL), 네스티드로지모델 (Nested Logit Model, NLM) 등이 있다. 이 중에서 MNL은 가장 기본적인 모델로써 효용에 여러 가지 영향요인이 존재하는 경우 효용을 추정하는 모델이다. 이 모델은 효용의 계산 및 추정이 용이한 측면에서 가장 많이 사용된 모델이기도 하다. Horne et al. [22], Mau et al. [28], Achtnicht et al. [2] 등의 논문에서는 MNL 모형으로 캐나다, 독일, 미국 등 나라에서 전기자동차, 수소차 등 친환경 자동차의 확산을 분석하였다. MXL 모형은 개인의 선호도의 다양성을 반영한 모델로써 추정할 계수 값이 랜덤하다는 측면에서 계수 값이 일정한 MNL모형과 다르다(McFadden and Train [30]). Rasouli and Timmermans [34], Hoen and Koetse [22]은 MXL 모형을 이용하여 덴마크, 네덜란드, 이탈리아에서 친환경자동차의 확산을 예측하였고, Helveston et al. [19]은 MXL 모형으로 각각 미국과 일본 및 미국과 중국에서 전기자동차 및 하이브리드 자동차의 확산을 비교, 분석하였다. Potoglou and Kanaroglou [32]은 NLM 모형을 이용하여 각각 캐나다와 중국에서의 친환경 자동차의 확산을 예측하였다.

제 3 장 전기자동차 확산 예측 절차

3.1 설문조사

본 연구에서는 자동차 선택 게임과 같은 설문을 통해 소비자가 자동차를 구매하는 효용을 추정하고 있다(Koetse and Hoen [26]). 설문조사를 통해 소비자 효용을 추정한 COWI [10], Hess and Rose [21], Maness and Cirillo [29]의 선행 연구들이 있으며, 국내의 친환경 자동차 시장을 반영하기 위해 국내의 정부계획 및 정책을 비교하고 반영하여 설문조사를 작성하였다(산업통상자원부 [49], 한국전자정보통신산업진흥회 [54], 환경부 [56], IEA [24], Priessner et al. [33], Shafiei et al. [39]).

전기자동차 선호도를 조사하기 위해 전국 만 19세이상 성인 남녀를 대상으로 인터넷 기반 설문조사를 진행하였다. 선호도 조사의 개요는 Table 3.1과 같다.

Table 3.1: 전기자동차 선호도 조사 개요

| 조사목적 | 전기자동차 선호도 조사 |
|------|--|
| 조사대상 | 전국 만 19 세 이상 성인 남녀 |
| 표본추출 | 성 · 연령 · 지역별 인구비례 할당 (2018 년 1 월 말 기준 행정자치부 주민등록 인구 기준) |
| 표본수 | 1,251 명 |
| 표본오차 | 95 % 신뢰수준에서 $\pm 2.8 \%$ |
| 조사방법 | 인터넷 설문조사 |

표본은 성별, 연령별, 지역별 인구비례에 맞춰 할당하였으며 총 1,251명의 응답을 얻어내었다.

Table 3. 2: 전기자동차 선호도 조사 할당표

| 행정구역 | 남 | | | | 여 | | | | 총계 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| | 19~29세 | 30~39세 | 40~49세 | 50세 이상 | 19~29세 | 30~39세 | 40~49세 | 50세 이상 | |
| 서울특별시 | 23 | 24 | 52 | 97 | 22 | 24 | 23 | 44 | 309 |
| 부산광역시 | 7 | 8 | 8 | 20 | 8 | 7 | 8 | 18 | 84 |

| | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 대구광역시 | 6 | 5 | 7 | 13 | 5 | 5 | 7 | 12 | 60 |
| 광주광역시 | 4 | 2 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 6 | 30 |
| 대전광역시 | 4 | 4 | 4 | 6 | 4 | 3 | 3 | 6 | 34 |
| 인천광역시 | 6 | 7 | 8 | 15 | 7 | 7 | 8 | 13 | 71 |
| 울산광역시 | 2 | 2 | 3 | 7 | 3 | 3 | 3 | 5 | 28 |
| 경기도 | 27 | 28 | 37 | 58 | 26 | 25 | 33 | 52 | 286 |
| 강원도 | 3 | 3 | 4 | 8 | 2 | 2 | 3 | 8 | 33 |
| 충청남도 | 5 | 5 | 7 | 10 | 4 | 5 | 4 | 11 | 51 |
| 충청북도 | 4 | 4 | 4 | 7 | 3 | 3 | 3 | 8 | 36 |
| 경상남도 | 7 | 7 | 9 | 14 | 7 | 6 | 8 | 16 | 74 |
| 경상북도 | 5 | 5 | 6 | 13 | 5 | 4 | 7 | 15 | 60 |
| 전라남도 | 4 | 3 | 5 | 9 | 3 | 3 | 4 | 11 | 42 |
| 전라북도 | 3 | 3 | 4 | 8 | 3 | 3 | 3 | 10 | 37 |
| 제주도 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 16 |
| 계 | 111 | 112 | 164 | 293 | 107 | 105 | 121 | 238 | 1,251 |

자동차구매 선호도를 측정하기 위해 자동차 선택 게임을 기반으로 한 설문조사를 설계하였으며, 구매대상 자동차로 내연기관 자동차, 하이브리드 자동차, 전기자동차를 설정하였다. 위의 구매 대상 자동차에서 각기 다른 두 종류의 자동차를 대상으로 비교하여 선호하는 자동차를 선택하는 방식으로 진행하였다. 총 세 종류의 게임 상황을 연출하게 되며, 내연기관 자동차와 하이브리드 자동차의 선택게임, 내연기관 자동차와 전기자동차의 선택게임, 하이브리드와 전기자동차의 선택게임과 같다.

자동차 속성의 경우 선행연구를 통하여 구매가격, 가속도, 연간유지비용 및 연료비용, 주유 및 충전 시간(급속, 완속), 완충 시 주행가능 거리, 주유소/충전소 접근성, 충전기 보급, 전기자동차 시차점유율을 선택하였다. 각 속성의 수준은 현재 기존모델로 선택한 자동차의 기본 재원을 사용하였다. 내연기관 자동차의 경우 대표 모델로 국내에서 가장 많이 팔린 자동차인 그랜저를 선택하였다. 하이브리드와 전기자동차의 경우 국내 시장 보급률이 미미하기 때문에 전 세계적으로 가장 많은 판매량을 기록한 Prius와 Leaf를 기본 재원으로 사용하였다. 기준이 되는 자동차 모델의 속성값들은 변하지 않고 비교 대상의 자동차의 속성값들만 세 가지의 수준으로 변하게 된다. 아래의 표는 기존대안 자동차의 속성 및 기본 수준 값을 나타낸 것이다. 구매가격의 경우 하이브리드와 내연기관 자동차 대표모델의 가격을 사용하였으며, 연간유지비용 및 연료비용의 경우 안기정과 김범식[51]에서 연구한 승용차 운행비용을 참고하여 사용하였다. 완전충전 시 주행가능 거리의 경우 차이가 나타나게 되는 데, 이는 기준의 화석연료를 사용하는 내연기관 보다 내연기관과 전기모터의 동력을 조합하여 구동하는 하이브리드 자동차의 운행효율이 높기 때문이다.

Table 3.3: 기존대안 자동차 속성

| 속성 | 수준 | |
|---------------|-------------------|-------------------|
| 차종 | 내연기관 자동차 | 하이브리드 자동차 |
| 구매가격 | 4000 만원 | 3200 만원 |
| 연간유지비용 및 연료비용 | 1104 만원 | 756 만원 |
| 주유 시간 | 3 분 | 3 분 |
| 완충 시 주행가능 거리 | 700km | 940km |
| 주유소/충전소 접근성 | 반경 5km 범위 내에 10 개 | 반경 5km 범위 내에 10 개 |
| 제로 백 | 7.57 초 | 10.65 초 |

Table 3.4는 비교대안 자동차 속성 및 변화 방식을 나타낸 것이다. 각 수준에 표시되어 있는 것이 기준 값이며, 이 값을 기준으로 $\pm 20\%$ 수준으로 무작위 하게 변화시켰다. 충전기 보조금과 시장점유율 속성의 경우 전기자동차에만 해당하므로, 실제 자동차 선택게임에서는 내연기관 자동차와 하이브리드 자동차의 속성에는 해당사항 없음으로 표기하여 설문을 진행하였다.

Table 3.4: 비교대안 자동차 속성 및 변화 방식

| 속성 | 수준 | |
|-------------------|---------------------|--------------------|
| 차종 | 하이브리드 자동차 | 전기자동차 |
| 구매가격 | 3840 만원 | 4140 만원 |
| | 3200 만원 * | 3450 만원 * |
| | 2560 만원 | 2760 만원 |
| 연간유지비용 및 연료비용 | 907 만원 | 180 만원 |
| | 756 만원 * | 150 만원 * |
| | 605 만원 | 120 만원 |
| 주유 및 충전시간(급속: 완속) | 3 분 * | (15 분, 4 시간) |
| | | (30 분, 5 시간) * |
| | | (45 분, 6 시간) |
| 완충 시 주행가능 거리 | 840km | 300km |
| | 940km * | 400km * |
| | 1040km | 500km |
| 주요소/충전소 접근성 | 반경 5km 범위 내에 10 개 * | 반경 5km 범위 내에 2 개 |
| | | 반경 5km 범위 내에 6 개 * |
| | | 반경 5km 범위 내에 10 개 |
| 제로 배 | 12.78 초 | 9.60 초 |
| | 10.65 초 * | 8.00 초 * |
| | 8.52 초 | 6.40 초 |
| 충전기 보조금 | 해당 없음 | 500 만원 |
| | | 400 만원 * |
| | | 300 만원 |
| 시장점유율 | 해당 없음 | 0 % |

| | | |
|--|--|------|
| | | 25 % |
| | | 50 % |

* 속성의 기준 값

위의 속성들과 수준들을 반영하여 설문참가자들이 최종적으로 응답하는 설문지는 Table 3.5와 같은 양식을 가진다.

Table 3.5: 자동차 선택 게임 예시

| 요인 | 모델1 | 모델2 |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 차종 | 내연기관 자동차 | 전기자동차 |
| 구매가격 | 4000 만원 | 4440 만원 |
| 연간유지비용 | 1104 만원 | 150 만원 |
| 주유/충전 시간 | 3 분 | 30 분: 5 시간 |
| 완충 시 주행가능 거리 | 700 Km | 300 km |
| 주유소/충전소 접근성 | 10 개 | 6 개 |
| 제로백 | 7.57 초 | 9.60 초 |
| 충전기 보조금 | 해당사항 없음 | 400 만원 |
| 시장점유율 | 해당사항 없음 | 0 % |
| 귀하는 두 모델 중 어떤 자동차를 구매하시겠습니까? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

각 응답자들은 세 세트의 자동차 선택게임을 하게 되며, 내연기관 자동차와 전기자동차 게임 및 하이브리드 자동차와 전기자동차의 게임의 경우 각 5번씩 진행하고, 내연기관 자동차와 하이브리드 자동차의 게임에서는 2번을 진행 하여 총 12번의 선택게임을 하였다.

3.2 다항로지모형을 이용한 효용함수 추정

본 연구에서는 앞에서 설명한 설문조사 자료를 분석하기 위한 모형으로 확률효용이론(Random Utility Theory)을 기반으로 한 이산선택모형(Discrete Choice Model)인 로지모형(Logit Model) 모형을 사용하였다. 이산선택모형은 잠재적 구매자가 선택할 수 있는 여러 대안들 중 구매자에게 가장 큰 효용을 선택한다는 합리적인 가정을 하고 있다. 확률효용이론을 수식으로 나타내면 식(3.1)과 같다.

$$U_{i,j} = V_{i,j} + \varepsilon_{i,j} \quad (3.1)$$

$U_{i,j}$ 는 잠재적 구매자 i 의 대안 j 에 대한 총효용을 나타내게 되며, $V_{i,j}$ 는 잠재적 구매자 i 의 대안 j 에 대한 확정적 효용(Deterministic Utility)을, $\varepsilon_{i,j}$ 는 잠재적 구매자 i 의 대안 j 에 대한 확률적 효용(Random Utility)을 의미한다.

본 연구에서 사용한 다항로지모형(Multinomial Logit Model)은 잠재적 구매자가 세 개 이상의 대안을 선택할 수 있을 때 유용하게 분석할 수 있는 기법으로 구매자들의 선호만으로 이루어질 때 사용한다. 이는 성별, 연령, 소득, 직업종류 등과 같이 대안에 따라 변화하지 않는 개인의 사회·경제적인 특성뿐만 아니라 선택대안에 따라 변화하는 가격, 보조금, 유지비, 충전소 등과 같은 변수까지 고려할 수 있다[52].

잠재적 구매자 i 가 1에서 n 명까지 있다고 있다고 했을 때, 자동차 구매 시 고려되는 다양한 속성들인 k 가 잠재적 구매자에게 미치는 효용의 크기는 식(3.2)과 같다.

$$\log \left[\frac{p_i}{1 - p_i} \right] = \alpha + \beta_1 x_{i,1} + \beta_2 x_{i,2} + \cdots + \beta_k x_{i,k} \quad (3.2)$$

$\beta_j x_{i,j}$ 는 잠재적 구매자 i 에 대해 자동차의 j 번째 속성이 구매 확률에 미치는 영향의 크기를 의미한다. 예를 들어, 자동차의 첫 번째 속성이 구매가격이면, $\beta_1 x_{i,1}$ 는 구매자 1의 자동차 구매확률에 대한 자동차 가격의 영향의 크기를 나타낸다.

3.3 전기자동차 확산 예측

본 연구에서는 i 시점의 전기자동차의 시장점유율 예측하기 위해 다음과 같은 방법론을 적용하였다. 먼저 3.2절에서 추정한 잠재적 구매자의 효용함수와 $i-1$ 시점에서의 내연기관 자동차와의 경쟁관계, 그리고 하이브리드 자동차와의 경쟁관계를 고려하여 i 시점의 전기자동차 시장점유율 변화를 예측하고자 한다.

이와 함께 자동차 속성값의 변화를 고려하는데, 이는 속성값이 변화함에 따라, 소비자의 효용이 변화하고 그에 따라 i 시점의 전기자동차의 시장점유율이 변화하게 되기 때문이다. 이를 도식화하면 Figure 3.1과 같다. 즉 본 연구에서는 이전 시점의 시장점유율과 소비자의 효용을 고려하여 최종적으로 시장점유율을 예측하고자 한다.

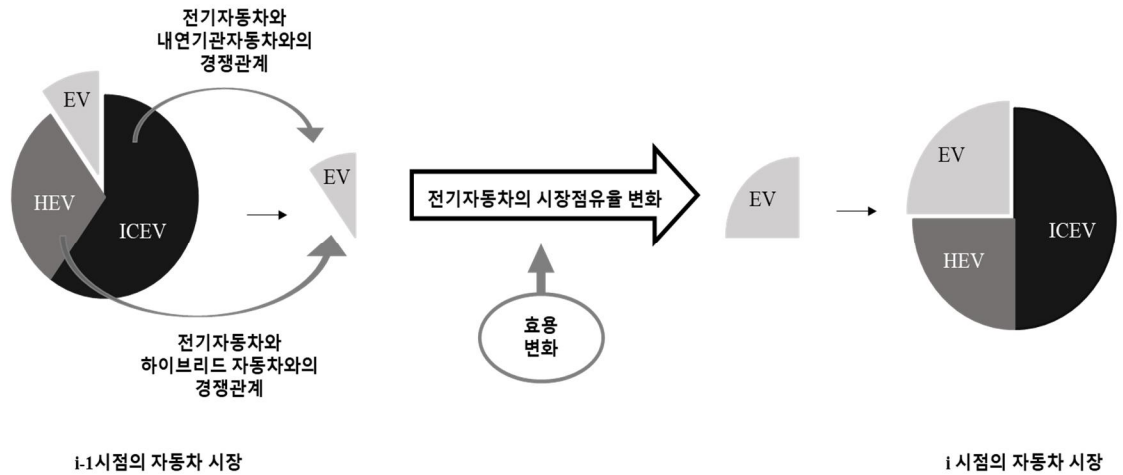


Figure 3.1: 확산예측 분석 절차

전기자동차의 시장점유율을 추정하는 과정은 Figure 3.2와 같다. i 시점의 전기자동차 시장점유율을 추정하기 위해서는 $i-1$ 시점의 각 자동차의 시장점유율 데이터와 전기자동차의 속성값을 입력으로 하여 $i-1$ 시점의 전기자동차 효용을 계산한다. 여기에서의 속성은 자동차선택게임을 통해 나타난 유의미한 네 가지 속성인 가격, 충전시간, 주행가능거리, 충전소이다. i 시점에서 속성 값들이 변화하면서 전기자동차에 대한 효용 값도 변화하며 이와 각 자동차 사이의 경쟁관계를 이용하여 각 자동차의 시장점유율을 추정한다. i 시점의 추정결과를 또 다시 $i+1$ 시점의 자동차 시장점유율을 추정하기 위한 입력 값으로 사용된다.

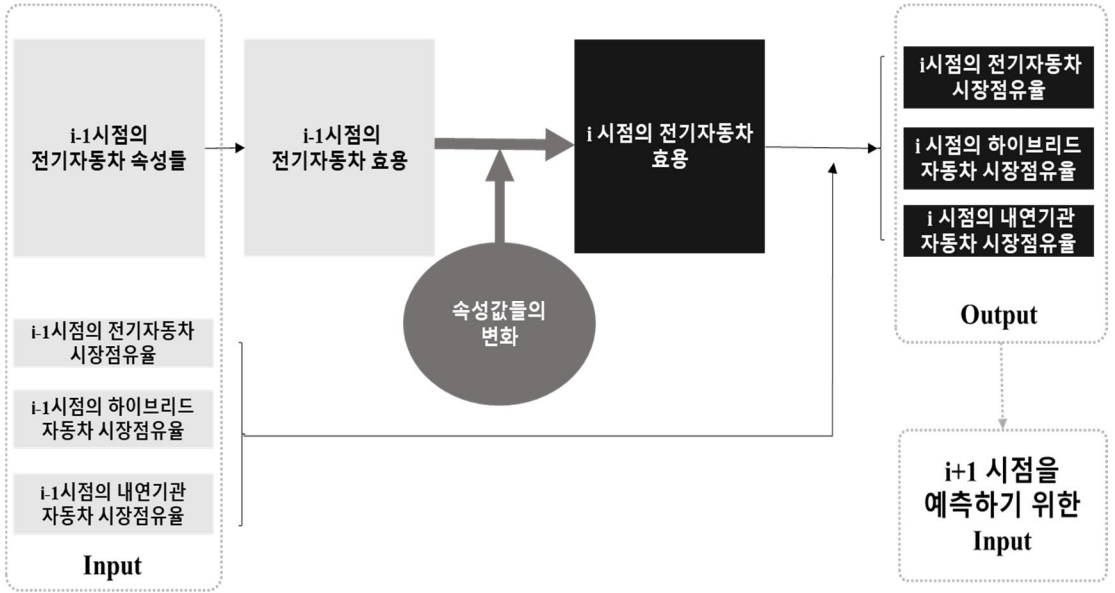


Figure 3.2: 시장점유율 예측 절차

각 자동차 종류에 대해 잠재 구매자들이 느끼는 효율을 통해 시장점유율을 추정하기 위해, 본 연구에서는 두 가지 가정을 한다. 첫 번째 가정은 두 시점에서 특정 자동차 종류의 시장점유율은, 특정 자동차 종류의 구매확률과 정비례 한다는 것이다. 시장점유율과 구매확률 사이의 이러한 관계를 나타내면 식(3.3)과 같다.

$$\frac{r_t}{r_s} = \frac{p_t}{p_s} \quad (3.3)$$

s 와 t 는 시점을 나타내며, r 은 각 시점의 시장점유율, p 는 각 시점의 특정 자동차의 구매확률을 나타내 것이다.

두 번째 가정은 특정 기간 동안 두 자동차 종류의 시장점유율 변화량 비율은 시작 시간에서 두 자동차 구매확률 값의 비율과 같다는 것이다. 즉,

$$\frac{\Delta r_{TYPE1}}{\Delta r_{TYPE2}} = \frac{\Delta p_{TYPE1}}{\Delta p_{TYPE2}}, \quad TYPE_i \in \{ICEV, HEV, EV\} \text{ for } i \in \{1, 2, 3\} \quad (3.4)$$

위의 두 가정을 이용하여 추정할 전기자동차 시장점유율은 수식(3.5)와 같다.

$$r_i^{EV} = r_{i-1}^{EV} + r_{i-1}^{EV} \times \left((-1)^{I_{\{p_i^{EV/ICEV} < p_{i-1}^{EV/ICEV}\}}} \frac{r_{i-1}^{ICEV}}{r_{i-1}^{ICEV} + r_{i-1}^{HEV}} \times \frac{p_i^{EV/ICEV}}{p_{i-1}^{EV/ICEV}} + (-1)^{I_{\{p_i^{EV/HEV} < p_{i-1}^{EV/HEV}\}}} \frac{r_{i-1}^{HEV}}{r_{i-1}^{ICEV} + r_{i-1}^{HEV}} \times \frac{p_i^{EV/HEV}}{p_{i-1}^{EV/HEV}} \right) \quad (3.5)$$

r_i^{TYPE} 는 i 시점의 자동차 종류의 시장점유율을 나타내며, p_i^{TYPE} 는 i 시점의 자동차 종류에 따른 구매확률을 나타낸다.

i 시점의 전기자동차 시장점유율은 $i-1$ 시점의 전기자동차 시장점유율과 다음의 합으로 구해지게 된다. 전기자동차의 시장점유율 변하는 $i-1$ 시점의 내연기관 자동차와 하이브리드 자동차에 영향을 받게 된다. 먼저 내연기관 자동차의 영향에서, $i-1$ 시점의 내연기관 자동차와 하이브리드 자동차 시장에서 내연기관이 차지하는 시장점유율의 비중과, i 시점에서 전년 대비 내연기관자동차와 전기자동차 중 전기자동차를 선택할 확률의 변화율의 곱으로 나타난는데, 이를 통해 내연기관과의 경쟁관계를 고려한 전기자동차의 시장 점유율을 추정할 수 있다.

$$r_i^{HEV} = r_{i-1}^{HEV} - r_{i-1}^{EV} \times (-1)^{I_{\{p_i^{EV/HEV} < p_{i-1}^{EV/HEV}\}}} \frac{r_{i-1}^{HEV}}{r_{i-1}^{ICEV} + r_{i-1}^{HEV}} \times \frac{p_i^{EV/HEV}}{p_{i-1}^{EV/HEV}} \quad (3.6)$$

i 시점의 하이브리드 자동차 시장점유율은 $i-1$ 시점의 하이브리드 시장점유율에서 i 시점에 하이브리드에서 전기자동차로 유입된 비율만큼 차감하면 i 시점의 하이브리드 자동차의 시장 점유율을 구할 수 있게 된다.

$$r_i^{ICEV} = r_{i-1}^{ICEV} - r_{i-1}^{EV} \times (-1)^{I_{\{p_i^{EV/ICEV} < p_{i-1}^{EV/ICEV}\}}} \frac{r_{i-1}^{ICEV}}{r_{i-1}^{ICEV} + r_{i-1}^{HEV}} \times \frac{p_i^{EV/ICEV}}{p_{i-1}^{EV/ICEV}} \quad (3.7)$$

i 시점의 내연기관 자동차 시장점유율은 $i-1$ 시점의 내연기관 자동차 시장점유율에서 i 시점에 내연기관 자동차에서 전기 자동차로 유입된 비율만큼 차감하면 i 시점의 내연기관 자동차의 시장 점유율을 구할 수 있게 된다.

제 4 장 분석 결과

4.1 효율함수 추정 결과

본 장에서는 자동차선택게임을 이용하여 각 자동차 종류에 대한 전기자동차의 효율함수를 추정한다. 각각의 자동차선택게임을 통해 나타난 결과는 다음과 같다. 먼저 하이브리드 자동차와 전기자동차 선택게임에서의 최대우도추정분석 결과는 아래의 표와 같다. 하이브리드와 전기자동차 선택게임에서는 유의확률 1%에서 가격, 주유 및 충전시간, 완충 시 주행가능 거리, 주유소 및 충전소 접근성이 통계적으로 유의미하다는 결과로 나타났다. 가격과 주유 및 충전시간의 경우 음의 관계를 가지며, 이는 가격, 주유 및 충전시간이 낮아질수록 잠재구매자의 효용이 높아진다는 것을 의미한다. 반대로 완충 시 주행가능 거리, 주유소 및 충전소 접근성 등의 속성은 양의 관계를 가지며, 이는 주행가능 거리, 주유소 및 충전소 접근성이 높아질수록 잠재구매자의 효용이 높아진다는 것을 의미한다.

Table 4.1: 최대우도추정분석 (하이브리드 자동차 vs 전기자동차)

| Parameter | Choice | DF | Estimate | Standard Error | Wald Chi-Square | Pr >ChiSq |
|-------------|--------|----|----------|----------------|-----------------|-----------|
| Intercept | 1 | 1 | 1.4030 | 0.3369 | 17.3391 | <.0001 |
| 가격 | 1 | 1 | -0.00050 | 0.000046 | 117.8747 | <.0001 |
| 제로 배 | 1 | 1 | 0.0114 | 0.0205 | 0.3105 | 0.5774 |
| 연간유지비용 | 1 | 1 | 0.000956 | 0.00109 | 0.7672 | 0.3811 |
| 주유/충전시간 | 1 | 1 | -0.00686 | 0.00222 | 9.5332 | 0.0020 |
| 완충 시 주행가능거리 | 1 | 1 | 0.00101 | 0.000322 | 9.9431 | 0.0016 |
| 충전기 보조금 | 1 | 1 | -0.00009 | 0.000319 | 0.0871 | 0.7679 |
| 주유소/충전소 접근성 | 1 | 1 | 0.0516 | 0.00819 | 39.6478 | <.0001 |
| 전기자동차 시장점유율 | 1 | 1 | 0.00116 | 0.00127 | 0.8326 | 0.3615 |

구매자 i 가 하이브리드 자동차와 전기자동차의 선택에서 전기자동차에 대해 느끼는 효용은 식(4.1)과 같다.

$$U_i^{EV/HEV} = 1.4030 - 0.00050 \text{Price} - 0.00686 \text{ChargingTime} + 0.00101 \text{Range} + 0.0516 \text{ChargingStation} \quad (4.1)$$

위의 효용식을 바탕으로 각 속성에 대해 지불의(Willingness To Pay, WTP)를 계산할 수 있다. Achtnicht [1]은 독일시장에서 자동차 구매자들의 이산화탄소 감축에 따른 지불의를 연구하였으며, Potoglou and Hidrue [32]와 Parsons et al. [31]은 친환경자동차 구매의 지불의를 연구하였다. 위의 연구들을 바탕으로 WTP를 추정한다면, 이는 차량 속성의 계수값과 가격 계수값의 비율로 계산할 수 있다. 충전시간에 대한 구매자 i 의 지불의금액은 식(4.2)와 같다.

$$WTP(\text{ChargingTime}) = \frac{-0.00686}{0.00050} = -13.72 \quad (4.2)$$

이는 구매자 i 가 충전시간이 1분 줄어들 때 약 14만 원을 지불할 용의가 있음을 의미한다.

1회 완충 시 주행가능거리에 대한 구매자 i 의 지불의금액은 식(4.3)과 같다.

$$WTP(\text{Range}) = \frac{0.00101}{0.00050} = 2.02 \quad (4.3)$$

이는 구매자 i 가 1회 완충 시 주행가능거리가 1km 늘어날 때 약 2만 원의 지불 용의가 있음을 의미한다.

충전소에 대한 구매자 i 의 지불용의금액은 식(4.4)와 같다.

$$WTP(ChargingStation) = \frac{0.0516}{0.00050} = 103.2 \quad (4.4)$$

이는 구매자 i 가 반경 5km 내에 충전소가 한 개 늘어날 때 약 103만 원의 지불용의가 있음을 의미한다. 하이브리드와 전기자동차 선택게임에서는 충전소가 가장 많은 지불용의가 있음을 알 수 있었다.

내연기관 자동차와 전기자동차 선택게임에서의 최대우도추정분석 결과는 아래의 표와 같다. 내연기관과 전기자동차의 선택게임에서는 유의확률 1%에서 가격, 주유 및 충전시간, 주유소 및 충전소의 접근성이 통계적으로 유의미하다는 결과를 얻었다. 가격, 주유 및 충전시간의 경우 음의 관계를 가지며, 이는 가격, 주유 및 충전시간이 줄어들수록 효용이 높아진다는 것을 의미한다. 주유소 및 충전소 접근성의 경우 양의 관계를 가지며, 이는 접근성이 높아질수록 구매자의 효용이 높아진 것을 의미한다.

Table 4.2: 최대우도추정분석 (내연기관 자동차 vs 전기자동차)

| Parameter | Choice | DF | Estimate | Standard Error | Wald Chi-Square | Pr >ChiSq |
|-------------|--------|----|----------|----------------|-----------------|-----------|
| Intercept | 1 | 1 | 1.9307 | 0.3412 | 32.0177 | <.0001 |
| 가격 | 1 | 1 | -0.00052 | 0.000048 | 120.8047 | <.0001 |
| 제로 배 | 1 | 1 | 0.0253 | 0.0208 | 1.4736 | 0.2248 |
| 연간유지비용 | 1 | 1 | 0.000048 | 0.00116 | 0.0017 | 0.9668 |
| 주유/충전시간 | 1 | 1 | -0.00824 | 0.00228 | 13.0169 | 0.0003 |
| 완충 시 주행가능거리 | 1 | 1 | 0.000632 | 0.000332 | 3.6111 | 0.0574 |
| 충전기 보조금 | 1 | 1 | 0.000089 | 0.000332 | 0.0713 | 0.7895 |
| 주유소/충전소 접근성 | 1 | 1 | 0.0433 | 0.00855 | 25.7173 | <.0001 |
| 전기자동차 시장점유율 | 1 | 1 | 0.00344 | 0.00139 | 6.1472 | 0.0132 |

구매자 i 가 내연기관 자동차와 전기자동차의 선택에서 전기자동차에 대해 느끼는 효용은 식(4.5)와 같다.

$$U_i^{EV/ICEV} = 1.9307 - 0.00052 \text{Price} - 0.00824 \text{ChargingTime} + 0.0433 \text{ChargingStation} \quad (4.5)$$

이를 다시 구매자 i 가 충전시간에 대한 지불용의금액을 나타내면 식(4.6)과 같다.

$$WTP(ChargingTime) = \frac{-0.00824516}{0.00052} = -15.85 \quad (4.6)$$

이는 구매자 i 가 충전시간이 1분 줄어드는 때 약 16만 원을 지불할 용의가 있음을 의미한다.

충전소에 대한 구매자 i 의 지불용의금액은 식(4.7)과 같다.

$$WTP(ChargingStation) = \frac{0.0433}{0.00052} = 83.27 \quad (4.7)$$

이는 구매자 i 가 반경 5km 내에 충전소가 한 개 늘어날 때 약 83만 원의 지불용의가 있음을 의미한다. 내연기관 자동차와 전기자동차의 선택게임에서도 충전소가 가장 많은 지불용의가 있는 것으로 나타났다.

4.2 전기자동차 확산 예측 결과

본 장에서는 앞서 설명한 전기자동차 확산 예측 절차를 바탕으로, 다양한 시나리오를 작성하고 그에 따른 분석을 실시한다 [45]. 자동차선택게임을 통해 나타난 가격, 충전시간, 충전소, 완충 시 주행가능거리 등 네 가지의 속성 값들을 변화시켜 향후 10년 후인 2027년까지의 전기자동차 시장점유율을 예측하고자 한다.

4.2.1 시나리오 1

시나리오 1의 경우 전기자동차의 가격이 2025년 까지 매년 200만 원씩 감소하여 내연기관자동차의 중·소형차와 같은 수준의 구매가격인 1,600만 원으로 설정하였다. 충전시간의 경우 현재 급속충전 시 소비되는 시간이 40분에서 20분으로 설정하였다. 충전소 수의 경우 정부의 ‘제3차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획’에서 발표한 전기자동차 충전시설 계획을 반영하여, 반경 5km내에 2개의 충전소에서 현재 주요 충전소 수와 같은 수준인 10개로 설정하였다. 완충 시 주행가능거리의 경우, 400km에서 하이브리드 자동차 수준인 1000km로 설정하였다.

Table 4.3: 시나리오 1 속성 값

| 년도 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 가격 (만원) | 3,000 | 2,800 | 2,600 | 2,400 | 2,200 | 2,000 | 1,800 | 1,600 | 1,600 | 1,600 |
| 충전시간 | 40 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 충전소 | 2 | 2 | 2 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 10 |
| 주행가능거리 (km) | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

시나리오 1을 바탕으로 전기자동차 확산예측을 살펴보면 Figure 4.1과 같다. 전기자동차의 2027년의 시장점유율은 16.82%로 나타났으며, 정부의 전기자동차 보급목표인 2020년 20%의 시장점유율에 미치지 못하였다.

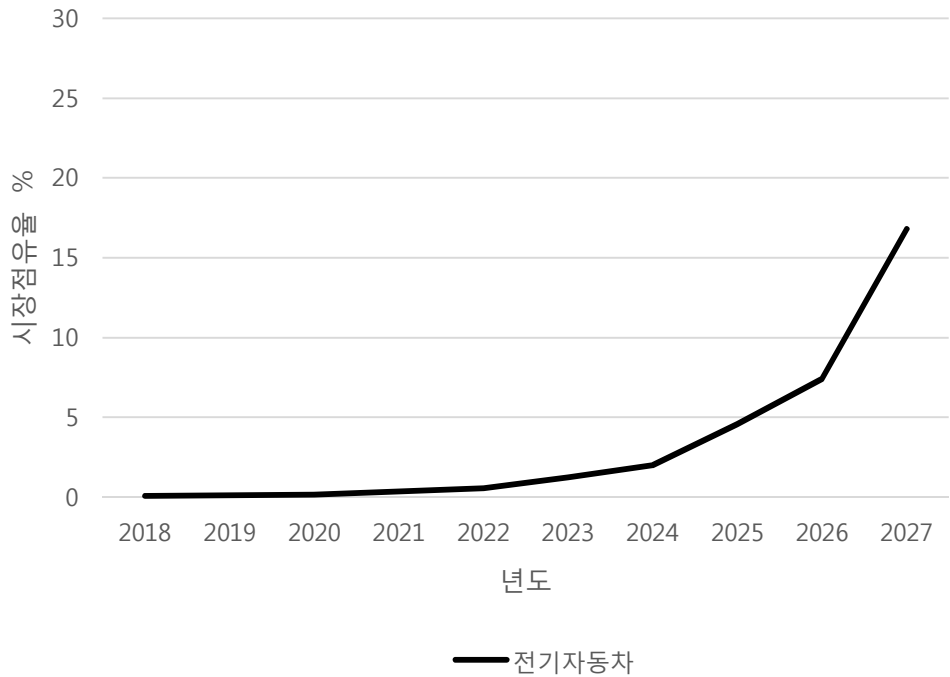


Figure 4.1: 시나리오 1에 따른 전기자동차 확산 예측

4.2.2 시나리오 2

시나리오 2의 경우 전기자동차 기술발전 및 충전소 시설 확충 등 정부의 적극적인 지원을 통해 친환경자동차시장이 긍정적인 상향을 가정하였다. 전기자동차 구매가격의 경우 시나리오 1 보다 빠른 속도로 구매가격이 하락하게 되고, 2023년까지 1,500만 원으로 수렴하여 유지된다고 설정하였다. 충전시간의 경우 시나리오 1에서는 최소 급속충전시간을 20분으로 설정하였지만, 시나리오 2에서는 내연기관 자동차의 주유시간과 동일한 3분으로 설정하였다. 충전소 수의 경우 정부의 '제3차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획'에서 발표한 전기자동차 충전시설 계획보다 많은 충전소 시설을 확충한다고 설정하였으며, 시나리오 1에서 설정한 반경 5km 내에 10개의 충전소의 2.2 배인 22개로 설정하였다. 완충 시 주행가능거리의 경우, 연비가 가장 좋은 하이브리드 자동차보다 약 500km 증가한 1,400km로 설정하였다.

Table 4.4: 시나리오2 속성 값

| 년도 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

| | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 가격 (만원) | 3,000 | 2,700 | 2,400 | 2,100 | 1,800 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 |
| 충전 시간 | 40 | 25 | 10 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 충전소 | 2 | 4 | 6 | 8 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 주행가능거리 (km) | 400 | 600 | 800 | 1,000 | 1,200 | 1,400 | 1,400 | 1,400 | 1,400 | 1,400 |

시나리오 2를 바탕으로 전기자동차 확산예측을 살펴보면 Figure 4.2와 같다. 전기자동차의 2027년의 시장점유율은 21.87%로 나타났으며, 시나리오 1과 비교하여 약 5% 증가하였다.

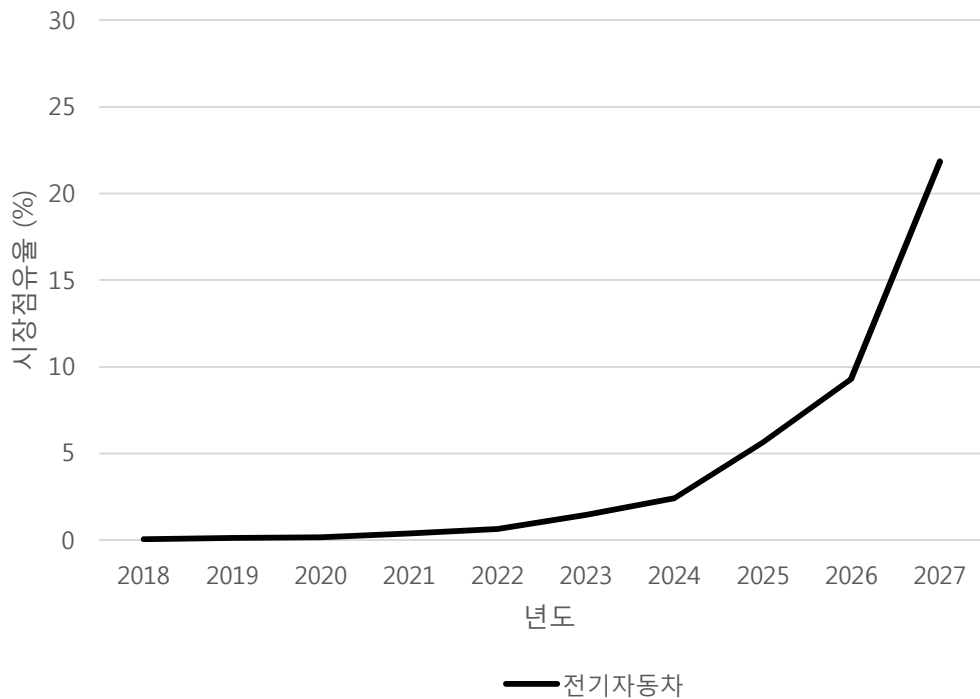


Figure 4.2: 시나리오 2에 따른 전기자동차 확산 예측

4.2.3 시나리오 3

시나리오 3의 경우 전기자동차 보급활성화를 위한 다양한 정부의 지원이 감소하고, 전기자동차 기술발전이 늦춰지는 등 전반적인 친환경자동차의 시장이 부정적인 상황을 가정하였다. 전기자동차 구매가격의 경우 최대 2,000만 원까지 지원되는 보조금이 사라지

고 현재의 구매가격이 유지된다고 설정하였다. 충전시간의 경우 시나리오 1에서는 최소 급속충전시간을 20분으로 설정하였지만, 시나리오 3에서는 기술발전의 제약을 가정하였기 때문에 최소 충전시간보다 10분 늘어난 30분으로 설정하였다. 충전소 수의 경우 정부의 ‘제3차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획’에서 발표한 전기자동차 충전시설 계획보다 적은 충전소 시설을 확충한다고 설정하였으며, 시나리오 1에서 설정한 반경 5km 내에 10개의 충전소의 0.5 배인 5개로 설정하였다. 완충 시 주행가능거리의 경우, 내연기관 자동차의 주행가능거리보다 약 100km 감소한 600km로 설정하였다.

Table 4.5: 시나리오 3 속성 값

| 년도 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 가격 (만원) | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 |
| 충전시간 | 40 | 40 | 40 | 40 | 35 | 35 | 35 | 35 | 30 | 30 |
| 충전소 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 주행가능거리 (km) | 400 | 400 | 400 | 500 | 500 | 500 | 500 | 600 | 600 | 600 |

시나리오 3를 바탕으로 전기자동차 확산예측을 살펴보면 Figure 4.3과 같다. 전기자동차의 2027년의 시장점유율은 9.71%로 나타났으며, 시나리오 1과 비교하여 약 7% 감소하였다.

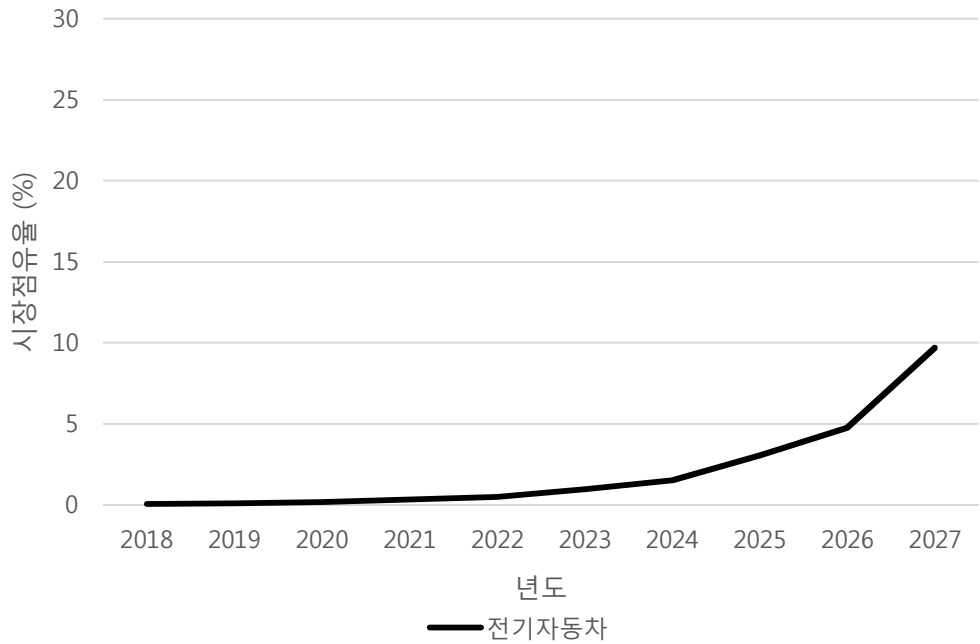


Figure 4.3: 시나리오 3에 따른 전기자동차 확산 예측

4.2.4 시나리오 4

시나리오 4의 경우 정부의 기본정책과 현실성을 적극 반영한 시나리오 1을 바탕으로, 구매가격, 충전시간, 충전소의 수, 1회 충전 시 주행 가능 거리 등 4가지의 변수 중에서 구매가격을 각각 긍정적인 시장 상황과 부정적인 시장 상황으로 분류하여 전기자동차 확산을 예측하였다. 이를 표로 정리하면 Table 4.6과 같다.

Table 4.6: 시나리오 4의 속성값

| 년도 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 긍정_가격 (만원) | 3,000 | 2,700 | 2,400 | 2,100 | 1,800 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 |
| 부정_가격 (만원) | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 |
| 충전시간 | 40 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 충전소 | 2 | 2 | 2 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 10 |
| 주행가능거리 (km) | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

시나리오 4를 바탕으로 전기자동차 확산 예측을 살펴보면 Figure 4.4와 같다. 긍정적인 시장 상황하에서의 2027년 전기자동차 시장점유율은 약 18.22%로 예측되었으며, 이는 Figure 4.4에서 점선으로 표시하였다. 부정적인 시장 상황하에서는 약 11.85%의 시장점유율을 기록할 것으로 예측되었으며, 이는 약 6.4%의 시장점유율 차이를 나타내었다.

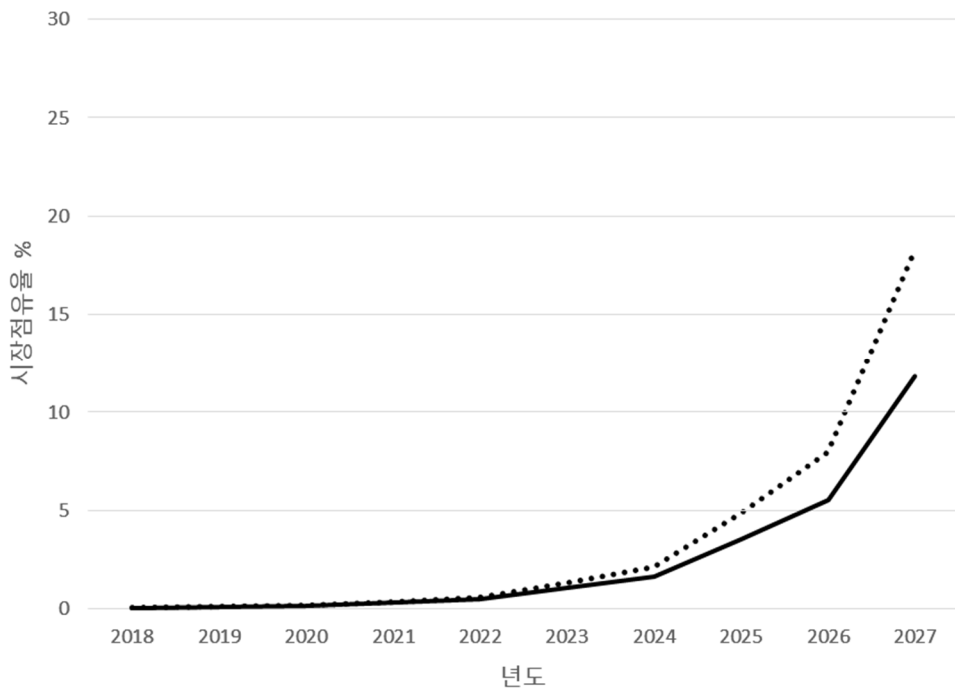


Figure 4.4: 시나리오 4에 따른 전기자동차 확산 예측

4.2.5 시나리오 5

시나리오 5의 경우 정부의 기본정책과 현실성을 적극 반영한 시나리오 1을 바탕으로, 구매가격, 충전시간, 충전소의 수, 1회 충전 시 주행 가능 거리 등 4가지의 변수 중에서 충전시간을 각각 긍정적인 시장 상황과 부정적인 시장 상황으로 분류하여 전기자동차 확산을 예측하였다. 이를 표로 정리하면 Table 4.7과 같다.

Table 4.7: 시나리오 5의 속성값

| 년도 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 가격 (만원) | 3,000 | 2,800 | 2,600 | 2,400 | 2,200 | 2,000 | 1,800 | 1,600 | 1,600 | 1,600 |
| 긍정-충전시간 | 40 | 25 | 10 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 부정-충전시간 | 40 | 40 | 40 | 40 | 35 | 35 | 35 | 35 | 30 | 30 |
| 충전소 | 2 | 2 | 2 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 10 |
| 주행가능거리 (km) | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

시나리오 5를 바탕으로 전기자동차 확산 예측을 살펴보면 Figure 4.5와 같다. 긍정적인 시장 상황하에서의 2027년 전기자동차 시장점유율은 약 18.36%로 예측되었으며, 이는 Figure 4.5에서 점선으로 표시하였다. 부정적인 시장 상황하에서는 약 15.68%의 시장점유율을 기록할 것으로 예측되었으며, 이는 약 2.68%의 시장점유율 차이를 나타내었다.

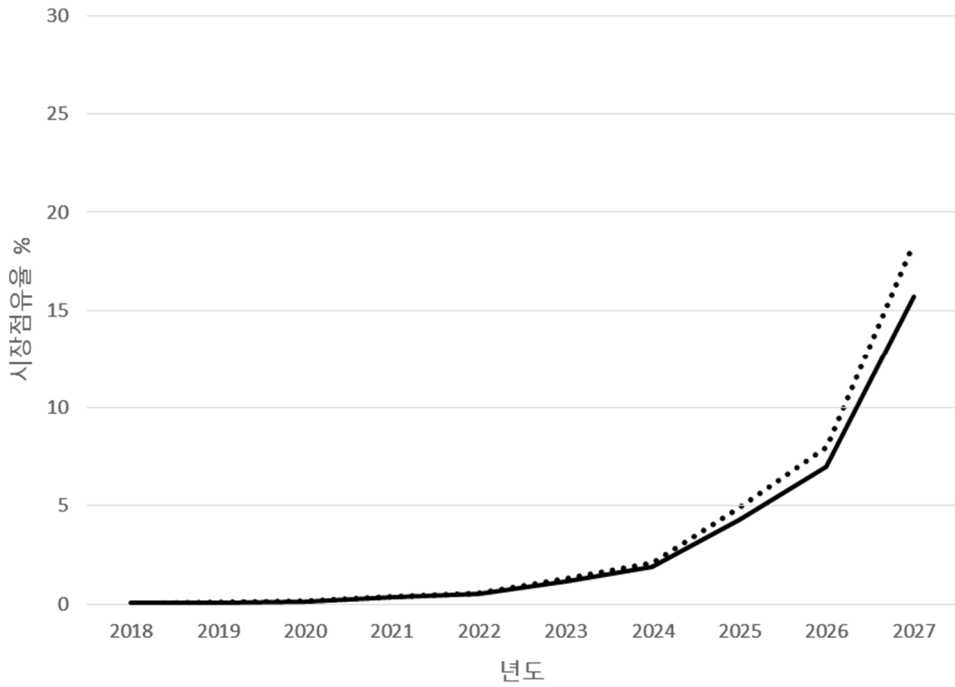


Figure 4.5: 시나리오 5에 따른 전기자동차 확산 예측

4.2.6 시나리오 6

시나리오 6의 경우 정부의 기본정책과 현실성을 적극 반영한 시나리오 1을 바탕으로, 구매가격, 충전시간, 충전소의 수, 1회 충전 시 주행 가능 거리 등 4가지의 변수 중에서 충전소의 수를 각각 긍정적인 시장 상황과 부정적인 시장 상황으로 분류하여 전기자동차 확산을 예측하였다. 이를 표로 정리하면 Table 4.8과 같다.

Table 4.8: 시나리오6의 속성값

| 년도 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 가격 (만원) | 3,000 | 2,800 | 2,600 | 2,400 | 2,200 | 2,000 | 1,800 | 1,600 | 1,600 | 1,600 |
| 충전시간 | 40 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 공정-충전소 | 2 | 4 | 6 | 8 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 부정-충전소 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 주행가능거리 (km) | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

시나리오 6을 바탕으로 전기자동차 확산예측을 살펴보면 아래의 그림과 같다. 긍정적인 상황에서의 충전소를 고려한 2027년의 시장점유율은 점선으로 표현하였으며, 18.98%로 예측되었다. 부정적인 상황의 충전소의 경우 실선으로 표현하였으며, 15.61%의 전기자동차 확산이 예측되었다.

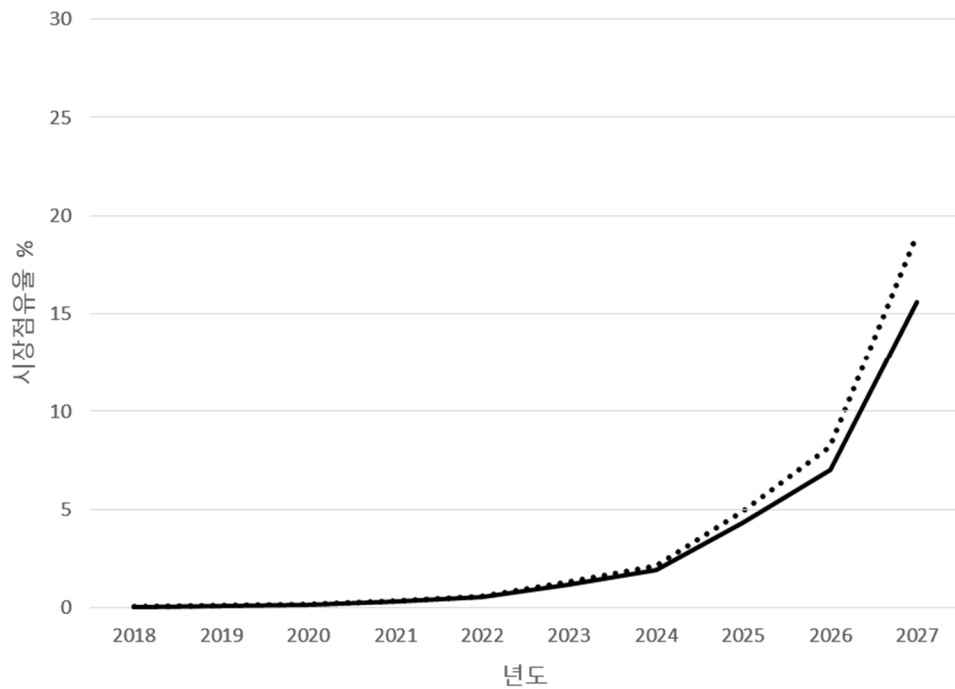


Figure 4.6: 시나리오 6에 따른 전기자동차 확산 예측

4.2.7 시나리오 7

시나리오 7의 경우 정부의 기본정책과 현실성을 적극 반영한 시나리오 1을 바탕으로, 구매가격, 충전시간, 충전소의 수, 1회 충전 시 주행 가능 거리 등 4가지의 변수 중에서 주행가능거리를 각각 긍정적인 시장 상황과 부정적인 시장 상황으로 분류하여 전기자동차 확산을 예측하였다. 이를 표로 정리하면 Table 4.9과 같다.

Table 4.9: 시나리오 7의 속성값

| 년도 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 가격 (만원) | 3,000 | 2,800 | 2,600 | 2,400 | 2,200 | 2,000 | 1,800 | 1,600 | 1,600 | 1,600 |
| 충전시간 | 40 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 충전소 | 2 | 2 | 2 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 10 |
| 긍정_주행가능거리 (km) | 400 | 600 | 800 | 1,000 | 1,200 | 1,400 | 1,400 | 1,400 | 1,400 | 1,400 |
| 부정_주행가능거리 (km) | 400 | 400 | 400 | 500 | 500 | 500 | 500 | 600 | 600 | 600 |

시나리오 7을 바탕으로 전기자동차 확산예측을 살펴보면 아래의 그림과 같다. 긍정적인 상황과 부정적인 상황에서의 주행가능거리를 고려한 2027년의 시장점유율은 각각 16.85%, 16.81%로 거의 비슷한 시장점유율을 차지하는 것으로 예측되었다.

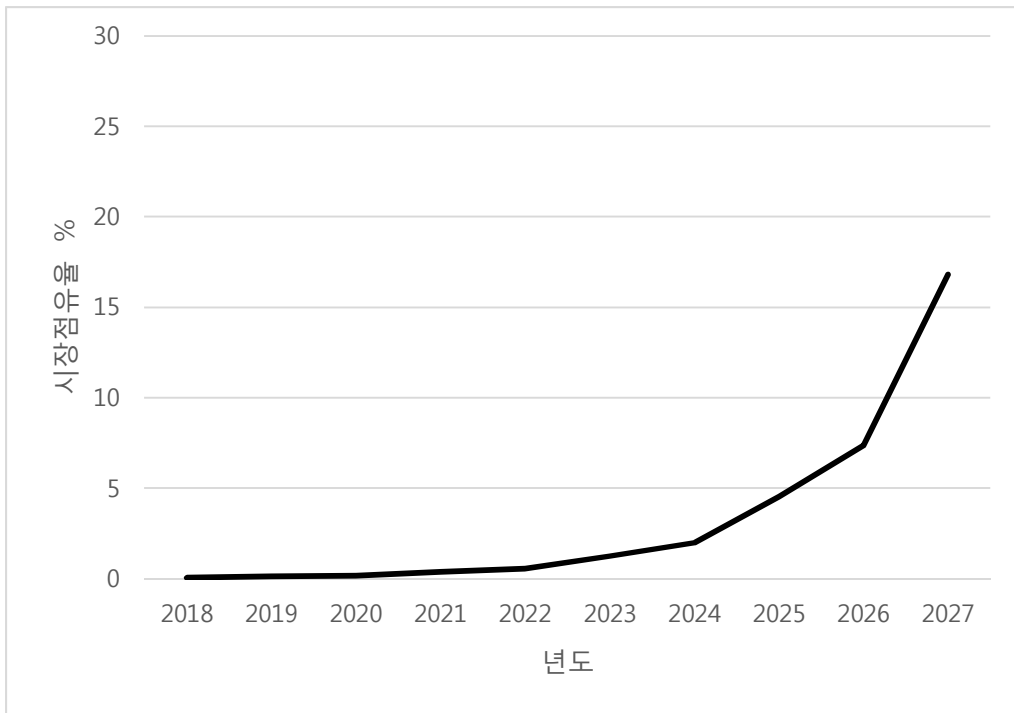


Figure 4.7: 시나리오 7에 따른 전기자동차 확산 예측

제 5 장 결론

5.1 결론

본 연구는 소비자들의 전기자동차 선호도를 측정하고, 이를 통해 시장확산을 예측하는 것을 목적으로 하고 있다. 구체적인 분석절차로는 먼저 자동차선택게임을 기반으로 한 설문이 이뤄졌으며, 이를 바탕으로 각 속성의 선호도를 추정하고, 마지막으로 각종 시나리오 하에서의 시장점유율을 예측하였다.

설문의 경우, 자동차 구매요인 중요도를 파악하는 목적으로 실시하였으며, 조사대상은 전국 만 19세 이상 성인 남녀를 대상으로 성·연령·지역별 인구비례로 할당하고 총 1,251명의 응답을 얻었다. 설문지 내용으로는 성별, 연령, 지역, 가족구성, 가구소득과 같은 일반적인 응답자 특성에 관한 질문과 자동차 선택 요인을 조사하는 문항으로 이루어져 있다. 마지막으로, 내연기관 자동차, 하이브리드 자동차 및 전기자동차 세 종류의 자동차를 기반으로 자동차 선택 게임을 진행한다. 응답자들은 각기 다른 두 종류의 자동차 선택 게임을 12회 수행하게 되며, 각 게임마다 8개의 속성을 세 가지 수준으로 변화시킨다.

설문의 결과를 살펴보면, 하이브리드 자동차와 전기자동차의 선택에서 가격, 충전시간, 주행가능거리, 충전소의 수가 유의미한 속성으로 나타났으며, 각 요소에 대하여 잠재적 구매자의 지불의를 구하면 다음과 같다. 예를 들어, 충전시간이 1분 줄어드는 때마다 약 13만 원을 지불할 의사가 있으며, 1회 충전 시 주행가능거리가 1km 늘어날 때마다 약 2만 원을 지불할 의사가 있다는 의미이다. 마지막으로, 5km 반경 범위 내에 충전소가 한 개 늘어날 때 약 103만 원의 지불의사가 있다는 것을 나타낸다. 내연기관 자동차와 전기자동차의 선택에서는 가격, 충전시간, 충전소의 수가 유의미한 결과로 나타났다. 유의미한 세 가지 속성들을 지불의로 환산하면, 충전시간이 1분 줄어드는 때 약 15만 원, 반경 5km 범위 내에 충전소가 한 개 늘어날 때 약 83만원의 지불의사가 있는 것으로 나타났다. 내연기관 자동차와 하이브리드 자동차의 선택에서는 유의미한 속성을 찾을 수 없었다.

설문조사 자료를 분석하기 위하여 이산선택모형(Discrete Choice Model)인 다항로지모형 (MultiNomial Logit Model) 모형을 사용하였다. 다항로지모형을 이용하여 각 자동차 속성들에 대한 구매자들의 효용을 측정한 후 특정 자동차의 구매확률을 구하였다.

다음으로는 각 자동차에 대한 유틸리티로 시장점유율을 추정하기 위해, 두 가지 가정을 하였다. 첫 번째 가정은 두 시점에서 특정 자동차 종류의 시장점유율은, 특정 자동차 종류의 구매확률과 정비례 한다는 것이며, 두 번째 가정은 특정 기간 동안 두 자동차 종류의 시장점유율 변화량 비율은 시작 시간에서 두 자동차 구매확률 값의 비율과 같다는 것이다.

위의 두 가정 바탕으로 다양한 시나리오 하에서 전기자동차의 확산을 알아보았다. 시나리오 1은 정부의 환경친화적자동차 기본계획을 참조하여 작성하였으며, 자동차선택게임즈 통해 나타난 유의미한 속성들인 가격, 충전시간, 충전소, 완충 시 주행가능거리 등의 값들을 변화시킨 결과 2027년 약 16.82% 전기자동차의 시장점유율을 예측하였다. 시나리오 2의 경우 정부의 기본계획보다 긍정적인 지원을 한다고 가정하여 작성하였으며, 2027년의 시장점유율은 21.87%로 나타났으며, 시나리오 1과 비교하여 약 5% 증가하였다. 시나리오 3은 시나리오 2와 반대로 부정적인 시장상황을 가정하였으며, 예측결과 2027년의 시장점유율은 9.71%로 나타났으며, 시나리오 1과 비교하여 약 7% 감소하였다.

위에서 설명한 3가지의 시나리오 외에, 정부의 기본계획과 현실성을 최대한 반영한 시나리오 1을 바탕으로, 구매가격, 충전시간, 충전소의 수, 1회 충전 시 주행 가능 거리 등 4가지 속성의 값을 각각 긍정적인 시장 상황과 부정적인 시장 상황으로 분류하여 전기자동차 확산을 예측하였다. 전기자동차의 구매가격을 긍정적인 시장상황과 부정적인 시장상황으로 분류하여 시장점유율을 예측한 시나리오 4의 경우, 가장 많은 시장점유율 차이인 6.4%를 나타내었다. 뒤이어, 전기자동차의 충전시설을 고려한 시나리오 6에서는 3.37%의 시장점유율 차이가 나타났으며, 충전시간을 고려한 시나리오 5에서는 2.68%의 차이를 보였다. 마지막으로, 1회 충전 시 주행 가능거리를 고려한 시나리오 7에서는 가장 작은 시장점유율 차이인 0.04%를 기록하였다.

현재 정부는 전기자동차 보급 확산을 위해 보조금 정책과 연구개발 투자를 진행하고 있는 상황이며, 본 연구에서 나타난 유의미한 4가지 속성들 또한 보조금과 연구개발 투자의 측면에서 나눌 수 있다. 특히, 한국정부에서는 구매 보조금 외에 다른 나라에서 지원하지 않는 충전소 보조금을 지원하고 있다. 이는 본 연구결과에서 나타난 것처럼 전기자동차 보급 확산에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다만, 영향의 크기를 고려하여 충전소 시설 보조금보다 구매 보조금 재원을 확충하여 소비자들에게 지원한다면 실효성 있는 전기자동차 보급 확산 정책이 될 것이라 기대한다.

5.2 향후 연구 계획

본 연구에서는 7개의 시나리오를 작성하여 전기자동차 시장점유율을 예측하였다. 기본시나리오에 속하는 시나리오 1의 경우 정부의 기본계획을 반영하여 작성하였다. 현재 정부는 친환경 자동차 보급확산을 위해 5년마다 환경 친화적 자동차의 개발 및 보급 기본계획을 수립하고 있다. 정부에서 최근에 발표한 2015년 제3차 계획의 경우 “2020년 친환경차 상용화 시대 조성”이라는 목표아래, 경쟁력 있는 친환경차 개발, 인프라 확대, 친환경차 활용 사회 기반 조성, 보급 확대를 위한 법·제도 개선 등을 추진하고 있다. 본 연구에 사용된 시나리오 1의 경우 정부에서 계획한 충전소 구축 목표를 사용하였지만, 충전시간, 주행가능거리, 구매 가격등과 같이 기술과 직접적으로 관련된 속성들은 시나리오에 반영하기 어려운 점이 있다. 전기자동차의 핵심부품 성능향상을 위한 연구개발에 1,500억 원의 규모를 투자한다고 하였으나, 정확히 특정기술에 얼마만큼 투자 개발할지에 대해 상세히 서술되어 있지 않아 반영하기 힘든 부분이 있다. 향후 연구에서는 이전 기술동향의 살펴보고 발전 속도를 참고하여 좀더 현실성 있는 시나리오를 작성하여 전기자동차 확산 예측을 진행할 것이다.

본 논문에서는 다항로지모형 (MultiNomial logit model), 혼합로지모형 (Mixed logit model), 잠재계층모형 (Latent class model) 등 다양한 로지모형(Logit model) 중 다항로지모형을 사용하여 전기자동차 시장점유율을 예측하였다. 향후 연구에서는 본 연구에서 사용한 다항로지모형 뿐만 아니라, 다양한 이산선택모형을 사용하여 전기자동차 확산예측을 비교, 분석해 보는 것이 의미 있는 연구가 될 것이라 생각한다.

참고 문헌

- [1] M. Achtnicht, *German car buyers' willingness to pay to reduce CO2 emissions*, Climatic change, 113(2012), pp. 679-697.
- [2] A. Achtnicht, G. Bühler and C.Hermeling, *The impact of fuel availability on demand for alternative-fuel vehicles*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17(2012), pp. 262-269.
- [3] J. Axsen, K. S. Kurani, R. McCarthy and C. Yang, *Plug-in hybrid vehicle GHG impacts in California: Integrating consumer-informed recharge profiles with an electricity-dispatch model*, Energy Policy, 39(2011), pp. 1617-1629.

- [4] J. Axsen, D. C. Mountain and M. Jaccard, *Combining stated and revealed choice research to simulate the neighbor effect: The case of hybrid-electric vehicles*, Resource and Energy Economics, 31(2009), pp. 221-238.
- [5] J. Axsen, C. Orlebar and S. Skippon, *Social influence and consumer preference formation for pro-environmental technology: The case of a UK workplace electric-vehicle study*, Ecological Economics, 95(2013), pp. 96-107.
- [6] M. Bockarjova, J. Knockaert, P. Rietveld and L. Steg, *Dynamic consumer heterogeneity in electric vehicle adoption*, Transportation Research Board Annual Meeting 2014 Paper, 2014.
- [7] British Petroleum, *BP Statistical Review of World Energy 2013*, 2013.
- [8] M. Brown, *Catching the PHEVer: simulating electric vehicle diffusion with an agent-based mixed logit model of vehicle choice*, Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 16(2013).
- [9] C. G. Chorus, M. J. Koetse and A. Hoen, *Consumer preferences for alternative fuel vehicles: Comparing a utility maximization and a regret minimization mode*, Energy Policy, 61(2013), pp. 901–908.
- [10] COWI, *Fiscal measures to reduce CO2 emissions from new passenger cars*, European Commission, 2002.
- [11] R. A. Daziano, *Taking account of the role of safety on vehicle choice using a new generation of discrete choice models*, Safety Science, 50(2012), pp. 103–112.
- [12] R. A. Daziano and M. Achtnicht, *Forecasting adoption of ultra-low-emission vehicles using Bayes estimates of a multinomial probit model and the GHK simulator*, Transportation Science, 48(2013), pp. 671–683.
- [13] T. Franke and J. F. Krems, *What drives range preferences in electric vehicle users?*, Transport Policy, 30(2013), pp. 56–62.
- [14] K. S. Gallagher and E. Muehlegger, *Giving Green to get Green? Incentives and consumer adoption of hybrid vehicle technology*, Journal of Environmental Economics and Management, 61(2011), pp. 1–15.
- [15] R. Garcia, P. Rummel and J. Hauser, *Validating agent-based marketing models through conjoint analysis*, Journal of Business Research, 60(2007), pp. 848-857.
- [16] A. Glerum, L. Stankovikj and M. Bierlaire, *Forecasting the demand for electric vehicles: Accounting for attitudes and perceptions*, Transportation Science, 48(2014), pp. 483–499.
- [17] A. Hackbarth and R. Madlener, *Consumer preferences for alternative fuel vehicles: A discrete choice analysis*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 25(2013), pp. 5-17.

- [18] L. He, M. Wang, W. Chen and G. Conzelmann, *Incorporating social impact on new product adoption in choice modeling: A case study in green vehicles*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 32(2014), pp. 421–434.
- [19] J. P. Helveston, Y. Liu, E. M. Feit, E. Fuchs, E. Klampfl and J. J. Michalek, *Will subsidies drive electric vehicle adoption? Measuring consumer preferences in the US and China*, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 73(2015), pp. 96–112.
- [20] S. Hess, M. Fowler, T. Adler and A. Bahreinian, *A joint model for vehicle type and fuel type*, In European Transport Conference, 2009 Association for European Transport, 2009.
- [21] S. Hess and J. Rose, *Some lessons in stated choice survey design*, In European Transport Conference, 2009.
- [22] A. Hoen and M. J. Koetse, *A choice experiment on alternative fuel vehicle preferences of private car owners in the Netherlands*, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 61(2014), pp. 199–215.
- [23] M. Horne, M. Jaccard and K. Tiedemann, *Improving behavioral realism in hybrid energy-economy models using discrete choice studies of personal transportation decisions*, Energy Economics, 27(2005), pp. 59–77.
- [24] International Energy Agency (IEA), *Global EV outlook 2017*
- [25] J. Kim, S. Rasouli and H. Timmermans, *Expanding scope of hybrid choice models allowing for mixture of social influences and latent attitudes: Application to intended purchase of electric cars*, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 69(2014), pp. 71–85.
- [26] M. J. Koetse and A. Hoen, *Preferences for alternative fuel vehicles of company car drivers*, Resource and Energy Economics, 37(2014), pp. 279–301.
- [27] F. Liao, E. Molin and B. van Wee, *Consumer preferences for electric vehicles: a literature review*, Transport Reviews, 37(2017), pp. 252–275.
- [28] P. Mau, J. Eyzaguirre, M. Jaccard, C. Collins-Dodd and K. Tiedemann, *The ‘neighbor effect’: Simulating dynamics in consumer preferences for new vehicle technologies*, Ecological Economics, 68(2008), pp. 504–516.
- [29] M. Maness and C. Cirillo, *Measuring and modeling future vehicle preferences: A preliminary stated preference survey in Maryland*, European Transport Conference, 2011.
- [30] D. McFadden and K. Train, *Mixed MNL models of discrete response*, Journal of Applied Econometrics, 15(2000), pp. 447–470.
- [31] G. R. Parsons, M. K. Hidrue, W. Kempton and M. P. Gardner, *Willingness to pay for vehicle-to-grid (V2G) electric vehicles and their contract terms*, Energy Economics, 42(2014), pp. 313–324.

- [32] D. Potoglou and P. S. Kanaroglou, *Household demand and willingness to pay for clean vehicles*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 12(2007), pp. 264-274.
- [33] A. Priessner, R. Sposato and N. Hampl, *How to Trigger Mass-Market Adoption for Electric Vehicles?-An Analysis of Potential Electric Vehicle Drivers in Austria*, Environment, 47(2017), pp. 357-370.
- [34] S. Rasouli and H. Timmermans, *Influence of social networks on latent choice of electric cars: a mixed logit specification using experimental design data*, Networks and Spatial Economics, 16(2016), pp. 99-130.
- [35] N. Rivers and M. Jaccard, *Combining top-down and bottom-up approaches to energy-economy modeling using discrete choice methods*, The Energy Journal, 2005, pp. 83-106.
- [36] E. M. Rogers, *Diffusion of innovations*, New York, NY: Free Press, 2003.
- [37] J. Shin, J. Hong, G. Jeong and J. Lee, *Impact of electric vehicles on existing car usage: A mixed multiple discrete-continuous extreme value model approach*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17(2012), pp. 138-144.
- [38] E. Shafiei, B. Davidsdottir, J. Leaver, H. Stefansson and E. I. Asgeirsson, *Potential impact of transition to a low-carbon transport system in Iceland*, Energy Policy, 69(2014), pp. 127-142.
- [39] E. Shafiei, H. Thorkelsson, E. I. Ásgeirsson, B. Davidsdottir, M. Raberto and H. Stefansson, *An agent-based modeling approach to predict the evolution of market share of electric vehicles: a case study from Iceland*, Technological Forecasting and Social Change, 79(2012), pp. 1638-1653.
- [40] K. Train, *Discrete choice methods with simulation*, Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [41] K. Train, *Discount rates in consumers' energy-related decisions: A review of the literature*, Energy, 10(1985), pp. 1243-1253.
- [42] United Nation, United Nations framework convention on climate change 1992.
- [43] United Nation, Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change 1998.
- [44] United Nation, Paris agreement to the United Nations framework convention on climate change 2015.
- [45] J. Warth, A. Heiko and I. L. Darkow, *A dissent-based approach for multi-stakeholder scenario development—the future of electric drive vehicles*, Technological Forecasting and Social Change, 80(2013), pp. 566-583.
- [46] N. Yamaguchi, *Prediction of diffusion speed of ev by characteristics analysis of key devices*, Journal of Asian Electric Vehicles, 10(2012), pp.1553-1558.

- [47] T. Zhang, S. Gensler and R. Garcia, *A Study of the Diffusion of Alternative Fuel Vehicles: An Agent-Based Modeling Approach*, Journal of Product Innovation Management, 28(2011), pp. 152-168.
- [48] 강철규, 친환경 자동차 확대 허와 실, 경기연구원, 255(2016)
- [49] 산업통상자원부, 제 3 차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획, 산업통상자원부, (2015), pp. 1-37
- [50] 산업통상자원부, 한국에너지공단, 2017 년 에너지총조사 전기자동차 조사결과보고서, 한국에너지공단, (2017)
- [51] 안기정, 김범식, "서울시민 승용차 소유와 이용특성 분석", 서울연구원 정책과제연구보고서, (2015.5), pp. 1-102.
- [52] 이희연, 노승철, 고급통계분석, 문우사, (2013)
- [53] 외교부, <http://www.mofa.go.kr>
- [54] 한국전자정보통신산업진흥회, 전기자동차 현황 및 이슈, 한국전자정보통신산업진흥회 조사분석 센터, (2017)
- [55] 환경부, <http://www.me.go.kr>
- [56] 환경부, 환경·경제의 상생고리 친환경차 보급정책, 환경정책 Briefs, 4(2014)

Abstract

Electric Vehicles Diffusion Forecasting Based on Consumer Preference

Jin-Soo Shin

Department of Industrial Engineering

The Graduate School

Seoul National University

In recent years, demand for environmentally friendly vehicles has increased due to the environment impact of the automobile exhaust has steadily got attention. However, the demand for eco-friendly vehicles is unclear because of the lack of awareness and familiarity with internal combustion engine vehicles. Therefore, it can obtain more realistic prediction by considering consumers' perceptions of environmentally friendly vehicles rather than only considering previous sales volume trends.

In this paper, we conduct the research through two steps. In the first step, we review the previous research trend and select factors that affect the purchase of eco-friendly vehicles. A questionnaire is constructed with a car choice selection game following with previous studies. In the second step, we will estimate the contribution of each factor of purchasing eco-friendly vehicles based on the results of the survey, and examine the diffusion trend of environmentally friendly vehicles through various scenarios. The survey presented that the price, charging time, driving distance, and the number of charging stations are significant in the selection of hybrid and electric vehicles.

Through this study, we examine green vehicles' market diffusion trend and the Multinomial Logit model is employed to analyze how each attribute affect the purchasing of eco-friendly vehicles. Using the results, strategic decisions and policy bases for the market of eco-friendly vehicles can be developed. In addition, we expect the market share analysis process designed in this study may contribute to forecast the market diffusion of various new products.

Keywords: Electric Vehicles, diffusion forecasting, preference

Student Number: 2016-29908

